

令和2年10月9日

第9回気象文化大賞
研究成果報告書

課題名： 地上静電界の多点計測に基づいた雷雲内の電荷構造推定法の開発
研究代表者： 山下幸三
所属機関： 足利大学
研究期間： 令和元年6月8日～令和2年6月7日

1. 研究背景・目的

本研究は、雷雲内の帯電量・帯電高度と落雷発生との関係性を定量把握できる観測手法を開発することを目的としたものである。先行研究において雷雲内の電荷量・電荷高度の定量推定を試みた事例は少数に留まる。時刻差を設け雷雲に突入させた複数の気球により、雲内電荷構造の鉛直分布を導出した報告事例もある。ただ、気球が突入していない時間において観測は空白となり、刻一刻と変化する雷雲内の帯電状態の動態を追うには至っていない。また、落雷及び雲放電の放電路の高度・長さより雷雲内の電荷構造を追った事例も報告されている。雷雲内の電荷構造を推定する上で有効な情報が得られているが、発雷前の雷雲セル内における帯電の知見は得られてはいない。

本研究では雷雲下の地上静電界の多点計測を中核技術とし、雷雲内の電荷量・電荷高度の定量推定法開発に取り組む。雷雲内の電荷量・電荷高度の時間発展を導出し、雷雲内の充電・放電の連続観測を可能とする技術基盤の確立を目指す。

本申請では、国内有数の夏季雷発生域である栃木県・足利市に、申請者らによる独自開発センサー8機を配備し、地上静電界の多点計測に基づいた雷雲観測を実施した。センサー開発では、構造が複雑でノイズ耐性が低い従来システムの課題を抽出し、電源や信号回路の再設計を実施した。初期解析として電荷構造として単電荷モデルを適用し、地上静電界の多点計測データから雷雲内の電荷量・電荷高度の時間変化の算出に取り組んだ。

2. 観測

申請者らは、雷雲下の地上静電界計測を目的とし、回転型静電界計測器（以下、フィールドミル）を独自開発した。センサーの外観を図.1 および図.2 に、諸元を表.1 にまとめる。



図 1 独自開発した静電気計測システムの全体像外観



図 2 センサー部の拡大写真

表 1 独自開発静電気計測システムの諸元

項目	詳細
電源供給	商用電源及びソーラーパネル
駆動電圧	11-15 V
消費電流	～200 mA
消費電力	～2.4 W
信号増幅率	100 倍
出力信号レンジ	0-5V
AD 変換分解能	16 bits
信号周期	100 ミリ秒

2018 年度の開発システムから、表 2 にまとめた項目を改善した。ソーラーパネルを用い

た電源供給システムを新たに開発し、センサーの安定稼働を実現すると共に、設置場所の選択肢を拡大した。また、2018 年度まではノート PC を用いたデータ記録を実施していたが、2019 年夏季はマイコンを用いたデータ記録に変更した。同マイコンを用い、SD カードへのデータ記録を実施した。結果、炎天下でも安定した観測システムの稼働、欠損の少ないデータ記録を可能とした。なお、当初計画では、センサーシステムに通信モジュールを接続し、データ記録状況の常時監視機能付加を予定していたが、開発期間と予算の都合上、断念した。

表 2 2018 年夏季観測で抽出された観測網安定運用の阻害要因と、2019 年に実施したセンサー改良

技術的課題	2018 年度の状況	抽出課題	2019 年度の実施策
センサーへの電源供給	観測点現地の商用電源を使用	雷雲に伴う落雷による停電による観測停止	電源のソーラーバッテリー化
観測システムの安定稼働	ノート PC を用いたデータ記録	炎天下でのデータ記録による PC 停止・故障	マイコンを用いた高い熱耐性のデータ記録システムへ変更

各センサーには GPS モジュールを接続し、誤差 10ms 以下の精度で時刻同期を実現した。2019 年度は計 8 機のセンサーを製造し、2019 年 7 月から 9 月にかけて栃木県足利市および群馬県太田市にまたがるエリアに配備した。観測網の概要を図.3 に示す。

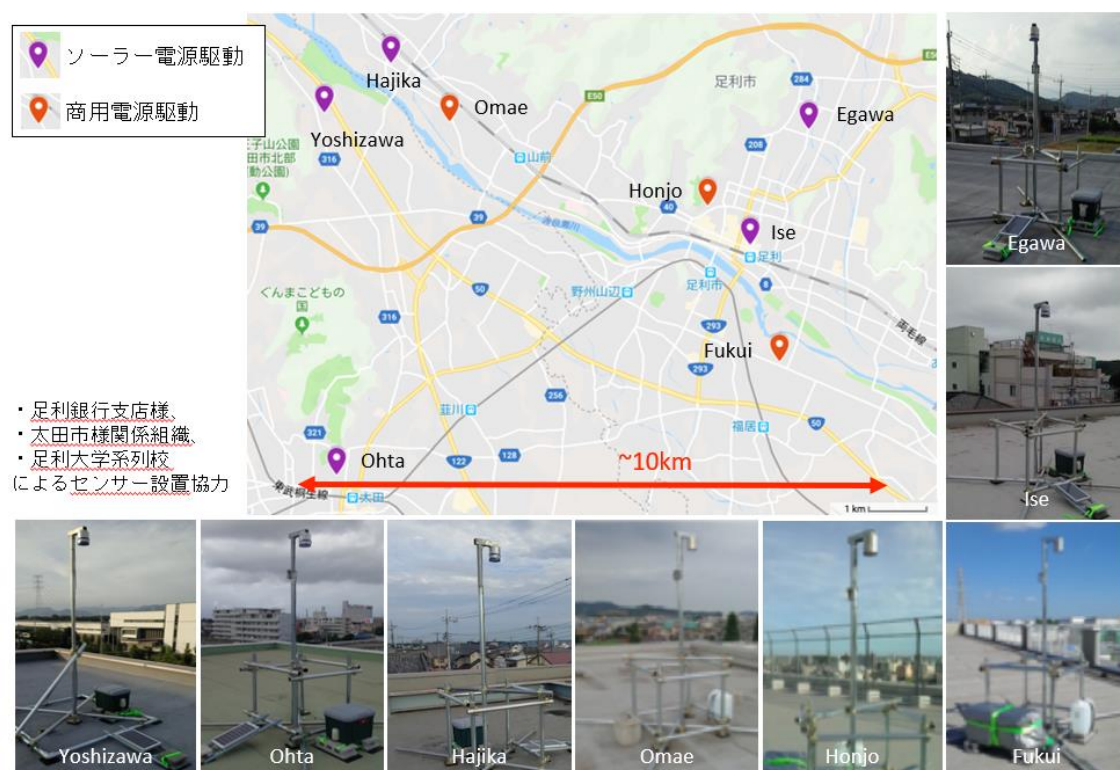


図 3 栃木県足利市および群馬県太田市にまたがる領域に展開した多点静電界計測網

観測は、日本国内夏季に北関東に発生する雷雲を対象とした。2019 年 7 月から 9 月にかけて、雷雲下の地上静電界の多点計測を実施した。10 月以降も、各センサーの特性測定のため計測を継続した（2020 年 4 月以降も、観測サイトを変更して観測を継続）。

3. 観測結果

3.1. 取得波形

観測結果として、2019 年 8 月 10 日および 8 月 26 日の二例を下記に示す。どちらの事例も、レーダーエコーを確認すると空間的に孤立した形状をした雷雲に伴う地上静電界の観測に成功した事例である。なお、波形はセンサー出力電圧の状態であり、未校正である。

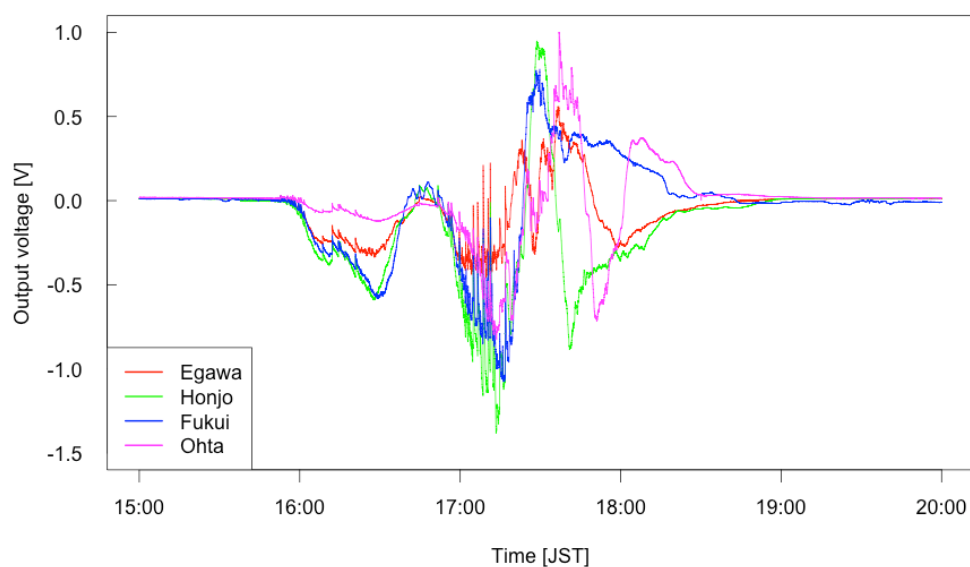


図 4 雷雲に伴う地上静電界を計 4 地点で計測した 2019 年 8 月 10 日の事例。

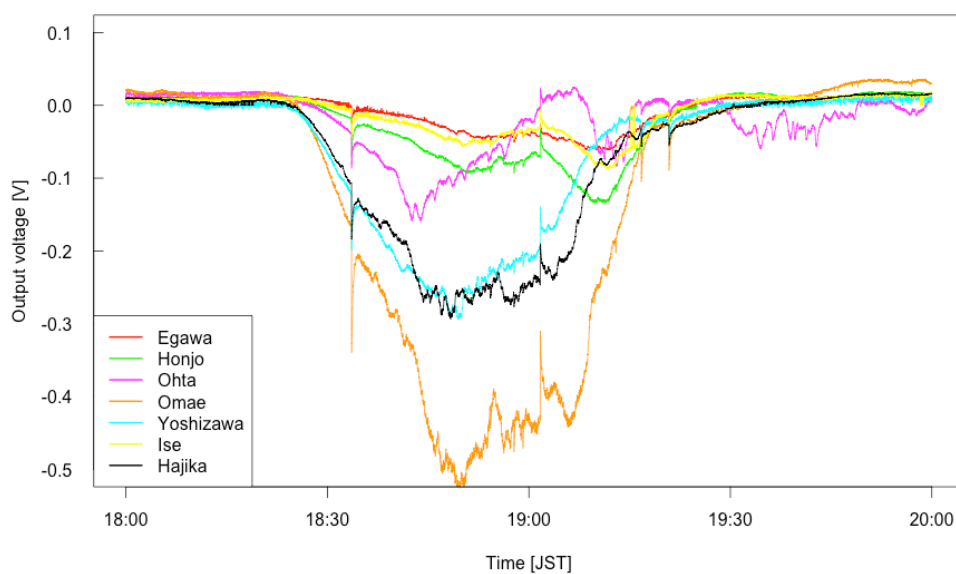


図 5 雷雲に伴う地上静電界を計 4 地点で計測した 2019 年 8 月 26 日の事例。

図.4 は 2019 年 8 月 10 日、足利市の北 30km 程度の領域に発生し、南下した雷雲に伴う地上静電界を計 4 点で取得した波形である。16:00-17:00[JST]の時間帯、波形形状は各観測点で大まかな一致が見られる。同時刻帯、気象レーダデータでは空間的に孤立した雷雲が確認されている。単一の雲内電荷による地上静電界の多地点計測に成功した結果と考えられる。その後 17:00[JST]以降は、各観測点における極性や波形形状に差異が生じた。雷雲が空間的に広がり、雲内の電荷領域が広域もしくは複数に成長したことで、各観測点の静電界の強度及び極性にばらつきが生じたものと考えられる。

図.5 は 2019 年 8 月 26 日、足利市の北西 30km 程度の領域に発生した雷雲に伴う地上静電界の波形である。計 7 点での多点計測に成功した。図.4 と同様に、数 km 間隔で配置したセンサーの出力波形に大まかな一致が見られる。同一の雲内電荷による地上静電界の同時計測に成功した結果と考えられる。

3.2. 雷雲内の電荷量・電荷高度の導出

雲内の電荷量・電荷高度の算出結果の一例として、2019 年 8 月 10 日の取得波形を用いた解析結果を下記に示す。

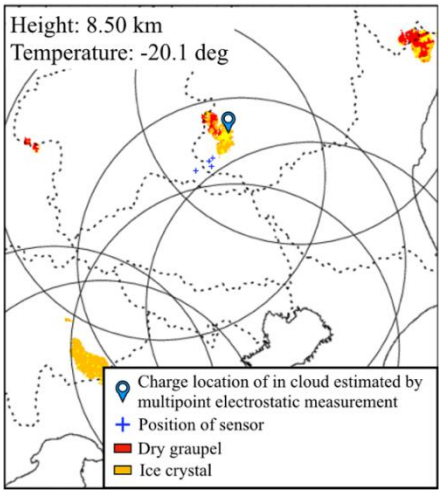


図 6 2019 年 8 月 10 日 16:05[JST]における単電荷モデルを仮定した際の雷雲電荷の水平位置と気象レーダデータの比較

2019 年 8 月 10 日 16:00-17:00[JST]の時間帯、雷雲に伴う地上静電界の多点計測波形は類似し、どれも負極性を示している。そこで、雷雲内の電荷として負の単電荷モデルを仮定し、電荷量・電荷高度の算出を試みた。結果を図.6 および表.3 に示す。

表 3 2019 年 8 月 10 日 16:05[JST]における地上静電界の多点計測データより導出した単電荷モデルを仮定した際の雷雲電荷量・電荷高度

Parameters	Results
Longitude/latitude of center location for charge in cloud	Longitude: 139.52 [deg] Latitude: 36.42 [deg]
Height of charge in cloud	8.82 km
Total amount of charge in cloud	-17.51 C

図.6 は 2019 年 8 月 10 日 16:05[JST]における静電界データから算出した雷雲電荷の緯度・経度と、気象レーダデータを比較したものである。表.3 は、2019 年 8 月 10 日 16:05[JST]における地上静電界の多点計測データから導出した雷雲電荷の緯度・経度および電荷高度である。なお、雷雲電荷の緯度経度の導出においては、感度校正した静電界データを用いている。レーダーエコー領域と静電界データから算出した雷雲電荷位置に一致性が見られた。本研究における静電界計測および校正法の妥当性を示した結果と考えられる。

4. まとめ・今後の課題

本申請では、2019 年度夏季に栃木県足利市および群馬県太田市にまたがる領域に計 8 点の静電界センサーを配備し、観測ネットワークを構築した。夏季における雷雲観測を実施した。静電界センサーは、足利大学にて多点計測を想定した静電界センサーを新規に設計・開発したものを用いた。

校正した静電界データ用い、計測電界値の強度比を用い、雷雲の電荷中心位置を推定した。レーダエコー領域と大まかな一致を確認した。本研究における静電界計測の妥当性を示す結果と考えられる。

現状において、解析対象として解析可能な時間幅が短い点が課題である。今後、観測イベントの積み増し、適切な電荷モデルの適用手法などを検討する必要がある。取得波形から雲内電荷量、電荷高度の時間変化を導出し、雷雲の充電と放電の関係性を定量的に把握可能な技術開発を継続する予定である。

成果発表実績

- [1] 山下幸三, 菅野 翔, 藤坂浩史: 栃木県足利市における静電界計測に基づいた雷雲監視網の構築, 電気学会 令和元年電力・エネルギー部門大会, 2019 年 9 月
- [2] 山下幸三, 菅野 翔, 藤坂浩史: 栃木県における地上静電界の多点計測に基づいた雷雲観測の初期結果, 日本大気電気学会第 98 回研究発表会, 2020 年 1 月
- [3] 山下幸三, 藤坂浩史, 菅野翔: 地上静電界の多点計測に基づいた雷雲観測の初期結果, 電気学会高電圧合同研究会 (HV-19-094), 2020 年 1 月

謝辞

本研究にご協力頂いた、足利銀行、太田市役所、わたらせ運動場の皆様に感謝致します。また、本研究は第 9 回気象文化大賞に加え、JSPS 科研費 18K24253002、第 2 回めぶきビジネスアワード大学イノベーション賞(常陽銀行/足利銀行)の助成を受けている。ここに記して感謝の意を表します。

以上